








**Verfahren zum Herstellen einer hochfesten Al-Zn-Mg-Cu-Legierung****Publication number:** DE10392805T**Publication date:** 2005-06-02**Inventor:** BENEDICTUS RINZE (NL); HEINZ ALFRED LUDWIG (DE); KEIDEL CHRISTIAN JOACHIM (DE)**Applicant:** CORUS ALUMINIUM WALZPROD GMBH (DE)**Classification:****- International:** **C22C21/10; C22F1/053; C22C21/10; C22F1/053;**  
(IPC1-7): C22C21/10**- European:** C22C21/10; C22F1/053**Application number:** DE20031092805T 20030611**Priority number(s):** EP20020077549 20020624; WO2003EP06208  
20030611**Also published as:** WO2004001080 (A1)  
 US2005006010 (A1)  
 GB2402943 (A)  
 FR2841264 (A1)  
 CN1656240 (A)  
 CA2485524 (A1)  
 AU2003277929 (A1)

less &lt;&lt;

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE10392805T

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 92 805 T5** 2005.06.02

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/001080**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **103 92 805.7**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/EP2003/006208**  
(86) PCT-Anmeldetag: **11.06.2003**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **31.12.2003**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **02.06.2005**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **C22C 21/10**

(30) Unionspriorität:  
**02077549.0**      **24.06.2002**      **EP**  
  
(71) Anmelder:  
**Corus Aluminium Walzprodukte GmbH, 56070**  
**Koblenz, DE**

(74) Vertreter:  
**Müller Schupfner, 80336 München**  
  
(72) Erfinder:  
**Benedictus, Rinze, Delft, NL; Heinz, Alfred**  
**Ludwig, 56414 Niederahr, DE; Keidel, Christian**  
**Joachim, 56410 Montabaur, DE**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen einer hochfesten Al-Zn-Mg-Cu-Legierung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen einer hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung mit einer verbesserten Beständigkeit gegen Ermüdungsanrißwachstum und einer hohen Schadenstoleranz, welches folgende Schritte aufweist:  
a) Gießen eines Barrens mit der folgenden Zusammensetzung (in Gew.-%).  
Zn: 5,5 – 9,5  
Cu: 1,5 – 3,5  
Mg: 1,5 – 3,5  
Mn: < 0,25  
Zr: < 0,25, bevorzugt 0,06 – 0,16  
Cr: < 0,10  
Fe: < 0,25,  
Si: < 0,25,  
Ti: < 0,10  
Hf und/oder V < 0,25, und andere Elemente jeweils weniger als 0,05 und weniger als 0,15 insgesamt, Rest Aluminium,  
b) Homogenisieren und/oder Vorwärmen des Barrens nach dem Gießen,  
c) Warmbearbeiten des Barrens und gegebenenfalls Kaltbearbeiten zu einem bearbeiteten Produkt mit einer Dicke von mehr als 50 mm,  
d) Lösungsglühen,  
e) Abschrecken des lösungsgeglühten Produkts, und  
f) künstliches Altern des bearbeiteten und wärmebehandelten Produkts, wobei der Alterungsschritt eine erste Wärmebehandlung bei...

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung mit einer verbesserten Korrosionsbeständigkeit, während gleichzeitig eine hohe Schadenstoleranz aufrechterhalten wird, ein Blechprodukt aus einer hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung, das nach dem erfinderschen Verfahren hergestellt wurde, mit einer Dicke von mehr als 50 mm, und ein Flugzeugbauteil, das aus einer solchen Legierung hergestellt wurde. Genauer betrifft die vorliegende Erfindung eine hochfeste Al-Zn-Cu-Mg-Legierung, die durch die Serie 7000 der internationalen Nomenklatur der Aluminium Association für strukturelle Flugzeuganwendungen bezeichnet ist. Noch genauer betrifft die vorliegende Erfindung ein dickes Aluminiumlegierungsprodukt, mit verbesserten Kombinationen von Festigkeit, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit, insbesondere eine gute Festigkeits-Korrosions-Bilanz hat.

**[0002]** Im Stand der Technik ist die Verwendung von aushärtbaren Aluminiumlegierungen bei einer Anzahl von Anwendungen bekannt, die relativ hohe Festigkeit, hohe Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit beinhalten, wie Flugzeugrümpfe, Fahrzeugelemente und andere Anwendungen. Die Aluminiumlegierungen AA7050 und AA7150 zeigen hohe Festigkeit in Wärmebehandlungen vom Typ T6, vgl. z.B. die US-6,315,842. Auch ausscheidungsgehärtete AA7x75-Legierungsprodukte zeigen hohe Festigkeitswerte in der T6-Wärmebehandlung. Die T6-Wärmebehandlung verbessert bekanntlich die Festigkeit der Legierung, wobei die oben erwähnten AA7050-, AA7x50- und AA7x75-Legierungsprodukte, die hohe Mengen von Zink, Kupfer und Magnesium enthalten, für ihre hohen Festigkeit-zu-Gewicht-Verhältnisse bekannt sind und deshalb insbesondere in der Flugzeugindustrie Anwendung finden. Allerdings bringen diese Anwendungen das Aussetzen an viele verschiedene klimatische Bedingungen mit sich, die eine sorgfältige Kontrolle von Arbeits- und Alterungsbedingungen erfordern, um eine adäquate Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit vorzusehen, einschließlich der Spannungskorrosion und des Abblätterns.

**[0003]** Um die Beständigkeit gegen Spannungskorrosion und Abblättern sowie die Bruchzähigkeit zu verbessern, ist es bekannt, diese Legierungen der Serie 7000 künstlich zu überaltern. Wenn sie künstlich zu einer Wärmebehandlung vom Typ T79, T76, T74 oder T73 überaltert werden, verbessern sich ihre Beständigkeit gegen Spannungskorrosion, Abblätterungskorrosion und Bruchzähigkeit in der angegebenen Reihenfolge (wobei T73 am besten ist und T79 nahe an T6), aber auf gewisse Kosten auf die Festigkeit im Vergleich zu dem T6-Wärmebehandlungszustand. Ein akzeptabler Wärmebehandlungszustand ist die T74-Wärmebehandlung, die eine begrenzter überalterter Zustand ist, zwischen T73 und T76, um ein akzeptables Niveau von Zugfestigkeit, Spannungskorrosionsbeständigkeit, Abblätterungskorrosionsbeständigkeit und Bruchzähigkeit zu erhalten. Eine solche T74-Wärmebehandlung wird durchgeführt, indem das Aluminiumlegierungsprodukt bei Temperaturen von 121°C für 6 bis 24 Stunden und 171°C für etwa 14 Stunden überaltert wird.

**[0004]** Je nach den Entwurfskriterien für ein spezielles Flugzeugbauteil ergeben selbst kleine Verbesserungen bei der Festigkeit, Zähigkeit oder Korrosionsbeständigkeit Gewichtersparnisse, die sich über die Lebenszeit des Flugzeugs in sparsamen Kraftstoffverbrauch umsetzen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, sind mehrere andere Legierungen der Serie AA7000 entwickelt worden.

**[0005]** Die US-Patentschrift Nr. 4,954,188 offenbart ein Verfahren zum Vorsehen einer hochfesten Aluminiumlegierung, gekennzeichnet durch eine verbesserte Beständigkeit gegen Abblättern unter Verwendung einer Legierung, die aus den folgenden Legierungselementen in Gew.-% besteht:

Zn: 5,9 – 8,2

Cu: 1,5 – 3,0

Mg: 1,5 – 4,0

Cr: < 0,04,

andere Elemente wie Zirkonium, Mangan, Eisen, Silicium und Titan insgesamt weniger als 0,5, Rest Aluminium, Bearbeiten der Legierung zu einem Produkt einer vorbestimmten Form, Lösungsglühen des umgeformten Produkts, Abschrecken und Altern des wärmebehandelten und abgeschreckten Produkts auf eine Temperatur von 132°C bis 140°C für einen Zeitraum von 6 bis 30 Stunden. Die erwünschten Eigenschaften hohe Festigkeit, hohe Zähigkeit und hohe Korrosionsbeständigkeit wurden bei dieser Legierung erreicht, indem die Alterungstemperatur gesenkt und nicht erhöht wird, wie es vorher z.B. in der US-Patentschrift Nr. 3,881,966 oder der US-Patentschrift Nr. 3,794,831 gelehrt wurde.

**[0006]** Es ist berichtet worden, daß die bekannten ausscheidungsgehärteten Aluminiumlegierungen AA7075 und andere Legierungen der Serie AA7000 im T6-Wärmebehandlungszustand unter bestimmten Bedingungen nicht eine ausreichende Beständigkeit gegen Korrosion ergeben haben. Die Wärmebehandlungen vom Typ T7, welche die Beständigkeit der Legierungen gegenüber Spannungskorrosionsrißbildung verbessern, vermin-

dem jedoch die Festigkeit signifikant gegenüber dem T6-Zustand.

**[0007]** Die US-Patentschrift Nr. 4,863,528 offenbart deshalb ein Verfahren zum Herstellen eines verbesserten Aluminiumlegierungsprodukts, wobei das Verfahren umfaßt, daß eine Legierung vorgesehen wird, die im wesentlichen in Gew.-% aus folgendem besteht:

Zn: 6 – 16

Cu: 1 – 3

Mg: 1,5 – 4,5

ein oder mehr Elemente ausgewählt aus Zr, Cr, Mn, Ti, V oder Hf, wobei die Gesamtheit der Elemente 1,0 Gew.-% nicht übersteigt, der Rest Aluminium und zufällige Verunreinigungen. Die Aluminiumlegierung wird nach dem Gießen lösungsgeglüht, ausscheidungsgehärtet, um ihre Festigkeit auf ein Niveau zu erhöhen, welches das Niveau der wie lösungsgeglühten Festigkeit um etwa 30% der Differenz zwischen der wie lösungsgeglühten Festigkeit und der Spitzenfestigkeit übersteigt, und danach einer Behandlung bei einer ausreichenden Temperatur oder Temperaturen unterzogen wird, um ihre Korrosionsbeständigkeitseigenschaften zu verbessern. Danach wird die Legierung wieder ausscheidungsgehärtet, um ihre Fließfestigkeit anzuheben und ein korrosionsbeständiges Produkt herzustellen. Die dort offenbarten Alterungstemperaturen sind zwischen 170°C und 260°C in einem Bereich von 0,2 min bis 3 Stunden. Dem künstlichen Alterungsschritt geht ein Ausscheidungshärtungsschritt voraus und folgt ihm, auch als T77-Altern bekannt. Es wurden Zugfestigkeitswerte zwischen 460 MPa und 486 MPa und eine Fließfestigkeit von 400 MPa bis MPa erhalten.

**[0008]** Die US-Patentschrift Nr. 5,035,754 offenbart ein Wärmebehandlungsverfahren für eine hochfeste Aluminiumlegierung, welches die Schritte des Lösungsglühens einer Aluminiumlegierung aufweist, die im wesentlichen in Gew.-% aus folgendem besteht:

Zn: 3 – 9

Cu: 1 – 3

Mg: 1 – 6

wenigstens ein Element, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus folgendem besteht:

Cr: 0,1 – 0,5

Zr: 0,1 – 0,5

Mn: 0,2 – 1,0,

wobei der Rest Aluminium ist, Erwärmen der Legierung auf eine Temperatur einer niedrigeren Temperaturzone von 100°C bis 140°C, gegebenenfalls Halten der Legierung auf einer Temperatur innerhalb der niedrigeren Temperaturzone für eine bestimmte Zeitdauer, Wiedererwärmen der Legierung auf eine Temperatur einer oberen Temperaturzone von 160°C bis 200°C, gegebenenfalls Halten der Legierung auf einer Temperatur innerhalb der oberen Temperaturzone für eine zweite Zeitdauer, Abkühlen der Legierung auf eine Temperatur einer niedrigeren Temperaturzone und wenigstens zweimaliges Wiederholen der oben erwähnten Schritte. Eine solche Legierung verbessert die Eigenschaften von AA7075- und AA7050-Aluminiumlegierungen durch den Erhalt einer guten Korrosionsbeständigkeit und hoher Festigkeitscharakteristika. Einige Proben zeigen eine Zugfestigkeit von 57 bis 62 kgf/mm<sup>2</sup> und Werte der Abblätterbewertung von P oder EA. Der Schwellenspannungswert des SCC-Tests war mehr als 50 kgf/mm<sup>2</sup>.

**[0009]** Die EP-0377779 offenbart ein Verfahren zum Herstellen für Blech- oder Dünnblechanwendungen auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrt wie obere Flügelemente mit hoher Zähigkeit und guten Korrosionseigenschaften, welches die Schritte des Bearbeitens eines Körpers mit einer Zusammensetzung aufweist, die in Gew.-% aus folgendem besteht:

Zn: 7,6 – 8,4

Cu: 2,2 – 2,6

Mg: 1,8 – 2,1

und ein oder mehr Elemente, die ausgewählt sind aus:

Zr: 0,5 – 0,2

Mn: 0,05 – 0,4

V: 0,03 – 0,2

Hf: 0,03 – 0,5

wobei die Gesamtheit der Elemente 0,6 Gew.-% nicht überschreitet, der Rest Aluminium plus zufällige Verunreinigungen, Lösungsglühn und Abschrecken des Produkts und künstliches Altern des Produkts, entweder durch Erwärmen des Produkts dreimal hintereinander auf eine oder mehr Temperaturen von 79°C bis 163°C oder Erwärmen eines solchen Produkts zunächst auf eine oder mehr Temperaturen von 79°C bis 141°C für zwei Stunden oder mehr oder Erwärmen des Produkts auf eine oder mehr Temperaturen von 148°C bis 174°C. Diese Produkte zeigen eine verbesserte Abblätterkorrosionsbeständigkeit von "EB" oder besser mit einer etwa 15% größeren Fließfestigkeit als ähnlich bemessene AA7x50 Gegenstücke in dem T76-Wärmebehand-

lungszustand. Sie haben noch wenigstens eine etwa 5 % größere Festigkeit als ihr ähnlich bemessenes AA7x50-T77-Gegenstück.

**[0010]** Die US-Patentschrift Nr. 5,312,498 offenbart ein anderes Verfahren zum Herstellen eines Legierungsprodukts auf Aluminiumbasis mit verbesserter Abblätterungsbeständigkeit und Bruchzähigkeit mit ausgeglichenen Zink-, Kupfer- und Magnesiumniveaus, so daß kein Überschuß an Kupfer und Magnesium vorliegt. Das Verfahren zum Herstellen des Legierungsprodukts auf Aluminiumbasis verwendet entweder einen einschrittigen oder zweischrittigen Alterungsprozeß in Verbindung mit dem stöchiometrischen Ausgleich von Kupfer, Magnesium und Zink. Eine zweischrittige Alterungssequenz ist offenbart, bei welcher die Legierung zunächst bei etwa 121°C für etwa 9 Stunden gealtert wird, worauf ein zweiter Alterungsschritt bei etwa 157°C für etwa 10 bis 16 Stunden folgt, worauf Luftkühlung folgt. Ein solches Alterungsverfahren ist auf Dünnblech- oder Blechprodukte gerichtet, die für Anwendungen bei der Haut von unteren Flügeln oder Rumpfhaut verwendet werden.

**[0011]** Es besteht jedoch ein Bedarf auf dem Gebiet der Luftfahrt an hochfesten Legierungen der Serie AA7000 mit einer Querschnittsdicke von mehr als 50 mm, z.B. für Holme oder Stäbe von Flügeln und Anwendungen bei der Haut von oberen Flügeln mit den oben erwähnten spezifischen mechanischen Eigenschaften wie Beständigkeit gegen Spannungskorrosion oder Beständigkeit gegen Abblätterungskorrosion. Diese Teile wie Holme von Flügeln für Flugzeuge werden typischerweise aus einem Blechprodukt über Bearbeitungsoperationen hergestellt, wobei die Materialeigenschaft eine Druckfestigkeit in der L-Richtung bei S/4 von wenigstens 475 MPa ist, eine spezifische Zugfestigkeit von wenigstens 510 MPa und eine ST (kurz quer) Dehnung bei S/2 von wenigstens 3,0 %.

**[0012]** Die EP-1158068A1 offenbart eine aushärtbare Aluminiumlegierung zum Herstellen von dicken Produkten mit einer Dicke von mehr als 12 mm, die Legierung ist eine Al-Zn-Cu-Mg-Legierung mit der folgenden Zusammensetzung in Gew.-%:

Zn: 4 – 10

Cu: 1 – 3,5

Mg: 1 – 4

Cr: < 0,3

Zr: < 0,3

Si: < 0,5

Fe : < 0,5

andere Elemente jeweils < 0,05 und < 0,15 gesamt, Rest Aluminium. Es ist offenbart, daß herausgefunden wurde, daß für dicke Produkte mit einer nur leicht rekristallisierten Mikrostruktur eine hohe Korngröße im Gußzustand zu einer spezifischen Mikrostruktur des umgewandelten und wärmebehandelten Produkts führt, was einen günstigen Effekt auf die Zähigkeit mit keiner Reduzierung der Festigkeit oder anderer Eigenschaften hat. Deshalb ist beschrieben, die Legierung in Form eines Walz-, Schmiede- oder Stranggußbarrens zu gießen, so daß die Korngröße im Gußzustand zwischen 300 und 800 µm gehalten wird.

**[0013]** Deshalb liegt die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein verbessertes Verfahren zum Herstellen einer hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung für dicke Blechprodukte mit einer verbesserten Beständigkeit gegen Ermüdungsanrißwachstum und einer hohen Schadenstoleranz vorzusehen, welche die oben erwähnten Eigenschaften einer Druckfestigkeit (in L-Richtung bei S/4) von wenigstens 475 MPa, einer spezifischen Druckfestigkeit von wenigstens 510 MPa und einer ST-Dehnung bei S/2 von wenigstens 3,0% hat.

**[0014]** Eine weitere Aufgabe liegt darin, eine Aluminiumlegierung der Serie AA7000 zu erhalten, die Festigkeit im Bereich von Wärmebehandlungen vom Typ T6 und Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit im Bereich von Wärmebehandlungen vom Typ T73 zeigt.

**[0015]** Ferner liegt eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine dicke Blechlegierung zu erhalten, die dazu verwendet werden kann, Strukturteile von Flugzeugen wie Holme von Flügeln mit hohen Festigkeitsniveaus und guten Korrosionsbeständigkeitseigenschaften herzustellen.

**[0016]** Die vorliegende Erfindung löst diese Aufgaben durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1. Weitere bevorzugte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beschrieben und angegeben.

**[0017]** Nach der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen einer hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung mit einer verbesserten Beständigkeit gegen Ermüdungsanrißwachstum und einer hohen Schadenstoleranz offenbart, welches folgende Schritte aufweist:

a) Gießen eines Barrens mit der folgenden Zusammensetzung (in Gew.-%).

Zn: 5,5 – 9,5

Cu: 1,5 – 3,5

Mg: 1,5 – 3,5

Mn: < 0,25

Zr: < 0,25, bevorzugt 0,06 – 0,16

Cr: < 0,10

Fe: < 0,25, bevorzugt < 0,15

Si: < 0,25, bevorzugt < 0,10

Ti : < 0,10

Hf und/oder V < 0,25, und

andere Elemente jeweils weniger als 0,05 und weniger als 0,15 insgesamt, Rest Aluminium,

b) Homogenisieren und/oder Vorwärmen des Barrens nach dem Gießen,

c) Warmbearbeiten des Barrens, bevorzugt mittels Walzen, und gegebenenfalls Kaltbearbeiten, bevorzugt mittels Walzen, zu einem bearbeiteten Produkt mit einer Dicke von mehr als 50 mm,

d) Lösungsglühen,

e) Abschrecken des lösungsgeglühten Produkts und künstliches Altern des bearbeiteten und wärmebehandelten Produkts, wobei der Alterungsschritt eine erste Wärmebehandlung bei einer Temperatur in einem Bereich von 105°C bis 135°C für mehr als 2 Stunden und weniger als 8 Stunden und eine zweite Wärmebehandlung bei einer höheren Temperatur als 135°C aber unter 170°C für mehr als 5 Stunden und weniger als 15 Stunden umfaßt, um ein Produkt zu erreichen mit einer Druckfestigkeit in L-Richtung bei S/4 von wenigstens 475 MPa, einer spezifischen Zugfestigkeit von wenigstens 510 MPa und einer ST-Dehnung bei S/2 von wenigstens 3,0%.

**[0018]** Die oben erwähnte Kombination von Chemie und Alterungspraxis zeigt sehr hohe Festigkeitsniveaus, sehr gute Abblätterungsbeständigkeit und hohe Spannungskorrosionsbeständigkeit für dicke Blechprodukte mit einer Dicke von mehr als 50 mm.

**[0019]** Spezifisch verwendet die zweischrittige Alterungspraxis der vorliegenden Erfindung eine erste Wärmebehandlung für 2 bis 5 Stunden bei Temperaturen im Bereich von 115°C bis 125°C, bevorzugt etwa 4 Stunden bei 120°C und eine zweite Wärmebehandlung für 5 bis 15 Stunden bei Temperaturen im Bereich von 155°C bis 169°C, bevorzugt für etwa 13 Stunden bei Temperaturen zwischen 161°C bis 167°C.

**[0020]** Dem Fachmann wird unmittelbar klar, daß bei dem Verfahren nach dieser Erfindung nach dem Abschrecken des lösungsgeglühten Produkts und vor der künstlichen Alterungspraxis das Produkt gegebenenfalls gestreckt oder komprimiert oder auf andere Weise kaltbearbeitet werden kann, um Spannungen zu reduzieren, wie dies im Stand der Technik bekannt ist.

**[0021]** Bevorzugte Mengen (in Gew.-%) von Magnesium sind in einem Bereich von 1,5 bis 2,5, bevorzugt in einem Bereich von 1,6 bis 2,3 und bevorzugter in dem Bereich von 1,90 bis 2,10. Bevorzugte Mengen (in Gew.-%) von Kupfer sind in einem Bereich von 1,5 bis 2,5, bevorzugt in einem Bereich von 1,6 bis 2,3 und bevorzugter in dem Bereich von 1,85 bis 2,10. Bevorzugte Mengen (in Gew.-%) von Zink sind in einem Bereich von 5,9 bis 6,2 oder in einem Bereich von 6,8 bis 7,1 oder in einem Bereich von 7,8 bis 8,1.

**[0022]** Kupfer und Magnesium sind wichtige Elemente, um der Legierung unter anderem Festigkeit mitzugeben. Der bevorzugte Bereich von Kupfer und Magnesium ist über 1,6 Gew.-% und niedriger als 2,3 Gew.-%, da zu geringe Mengen von Magnesium und Kupfer zu einer Abnahme von Festigkeit führen, während zu hohe Mengen von Magnesium und Kupfer in einer geringeren Korrosionsleistung und Problemen mit der Schweißbarkeit des Produkts resultieren. Um einen Kompromiß in Festigkeit, Zähigkeit und Korrosionsleistung zu erreichen, hat man herausgefunden, daß jede der Mengen für Kupfer und Magnesium (in Gew.-%) zwischen 1,6 und 2,3 mit bevorzugten engeren Bereichen eine gute Bilanz für dicke Legierungsprodukte ergeben, die oben und in den Ansprüchen dargelegt sind. Wenn die Mengen von Kupfer und Magnesium zu hoch gewählt sind, lassen die Eigenschaften bezüglich der Zähigkeit, Spannungskorrosion und Dehnung nach, besonders für dickere Produkte.

**[0023]** Darüber hinaus wurde herausgefunden, daß der Ausgleich von Kupfer und Magnesium zu Zink, besonders der Ausgleich von Magnesium zu Zink von Bedeutung ist. Je nach der Menge von Zink ist die Menge (in Gew.-%) von Magnesium bevorzugt zwischen 2,4–0,1[Zn] und 1,5+0,1[Zn]. Dies bedeutet, daß die Menge von Magnesium von der gewählten Menge von Zink abhängt. Bei einer Menge von etwa 6 Gew.-% Zn ist die Menge (in Gew.-%) von Magnesium zwischen 1,8 und 2,1, wenn Zn etwa 7% ist, ist die Menge von Magnesium zwischen 1,7 und 2,2, und wenn Zn etwa 8% ist, ist die Menge von Magnesium zwischen 1,6 und 2,3.

**[0024]** Mit dem Verfahren nach der vorliegenden Erfindung und dem gewählten Ausgleich von Kupfer, Magnesium und Zink ist es möglich, einen homogenisierten und/oder vorgewärmten Barren nach dem Gießen zu erhalten, der zu einem bearbeiteten Produkt mit einer Dicke von bevorzugt mehr als 60 mm, bevorzugter in einem Bereich von 110 mm bis 160 mm und sogar bis zu einer Dicke von 220 mm mit einem verbesserten Korrosionsverhalten warmbearbeitet und gegebenenfalls kaltbearbeitet wird, das wenigstens so gut wie das mit dem T77-Alterungsverfahren erreichbare, aber weniger kompliziert als die sogenannte Dreistufenalterungs-Wärmebehandlung T77.

**[0025]** Die Legierung der vorliegenden Erfindung ist bevorzugt aus der Gruppe ausgewählt, die aus AA7010, AA7x50, AA7040, AA7020, AA7x75, AA7349 oder AA7x55 oder AA7x85, bevorzugt AA7055, AA7085 besteht.

**[0026]** Erfindungsgemäß ist ein Blechprodukt aus einer hochfesten Aluminium-Zink-Kupfer-Magnesium-Legierung offenbart, das nach einem oben definierten Verfahren hergestellt ist und eine Dicke von mehr als 50 mm, bevorzugt 100 mm bis 220 mm hat. Ein solches Blechprodukt ist bevorzugt ein Teil eines Flugzeugs wie ein Stab oder ein Holm eines Flügels. Am bevorzugtesten ist das Blechprodukt nach der vorliegenden Erfindung ein oberes Flügelement eines Flugzeugs.

### BEISPIELE

**[0027]** Die obengenannten und weitere Merkmale und Vorteile der Legierungen nach der Erfindung werden leicht aus der folgenden detaillierten Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen deutlich.

**[0028]** In einem industriellen Maßstab wurden 7 unterschiedliche Aluminiumlegierungen zu Barren mit der folgenden chemischen Zusammensetzung gegossen, die in Tabelle 1 dargelegt ist.

Tabelle 1

Chemische Zusammensetzung von dicken Blechlegierungen in Gew.-%, Rest Aluminium und unvermeidbare Verunreinigungen, Fe = 0,08 und Si = 0,04 und Zr = 0,10, Legierungen 1 bis 5 mit Mn = 0,02 und Legierungen 6 und 7 mit Mn = 0,08

Legierung	Legierungselement			
	Cu	Mg	Zn	Zr
1	2,16	2,04	6,18	0,11
2	2,10	2,00	6,10	0,10
3	2,14	2,04	6,12	0,10
4	1,91	2,13	6,86	0,11
5	2,20	2,30	6,90	0,10
6	2,23	2,50	7,80	0,10
7	1,82	2,18	8,04	0,10

**[0029]** Aus den Barrenscheiben wurden Barren im Maßstab 1:1 gesägt, für 12 Stunden bei 470°C und für 24 Stunden bei 475°C homogenisiert, für 5 Stunden bei 410°C vorgewärmt und auf eine Dicke verschiedener Stärken warmgewalzt, wie sie in Tabelle 2 identifiziert sind. Danach wurden die Bleche lösungsgeglüht für 4 Stunden bei 475°C mit nachfolgendem Abschrecken und einem zweischrittigen Alterungsprozeß, einem ersten für 4 Stunden bei 120°C und einem zweiten für 3 Stunden bei 165°C.

**[0030]** Die in Tabelle 1 aufgeführten Legierungen wurden bezüglich verschiedener, in Tabelle 2 identifizierter Blechdicken untersucht.

Tabelle 2

Übersicht von Festigkeits-, Dehnungs- und Abblätterungseigenschaften verschiedener Dicken der Legierungen von Tabelle 1 (S/2 = halbe Dicke; S/4 = viertel Dicke); EXCO-Testen bei S/10 nach ASTM G34, Proben gezeigt für EA-ED-Klassifizierung

Blechdicke (mm)	Legierung	Rp-L (MPa) S/4	Rm-L (MPa) S/4	A- (ST) (%) S/2	EXCO
63,5	1	553	590	6	EC
110	2	503	553	4	EA
152	3	495	537	5	EA
152	3*	480	528	5	EA
63,5	4	570	604	3	EC
110	5	515	550	2	EA
110	6	510	565	2	EA
152	7	476	529	3	EA

\* gealtert bei 120° für 5 Stunden und danach bei 165°C für 15 Stunden

**[0031]** Wie in Tabelle 2 gezeigt, zeigen die Legierungen von Tabelle 1 eine gute Druckfestigkeit ("Rp") in L-Richtung von mehr als 476 MPa, die meisten von ihnen mehr als 500 MPa, während die spezifische Zugfestigkeit ("Rm) in L-Richtung über 529 MPa für alle Legierungen und Dicken ist, ein Beispiel sogar über 600 MPa für 63,5 mm. Die ST-Dehnung an der Position S/2 von allen Legierungen bis auf zwei ist 3% oder darüber, sogar bis zu 6%.

**[0032]** Die Abblätterungseigenschaften sind EA oder EC. Das Abblätterungstesten wurde nach ASTM G34 an der S/10-Position durchgeführt. Die Abblätterungseigenschaften sind ähnlich für ähnliche Alterungsschritte, wie sie in Tabelle 3 gezeigt sind, aber verschlechtern sich überraschend, wenn die erste Wärmebehandlung länger und die zweite Wärmebehandlung kürzer ist.

Tabelle 3

Abblätterungseigenschaften ("EXCO") von ausgewählten Legierungen von Tabelle 1 nach ASTM G34 ("- bedeutet nicht gemessen).

Legierung	Dicke	6h/120°C + 6h/155°C	5h/120°C + 12h/155°C	4h/120°C + 13h/165°C
1	63,5	EC	-	EC
3	110	-	EA	EA
5	63,5	EC	-	-
5	110	EC	EA	EA
6	110	ED	EA	EA
7	63,5	EC	-	EA



**[0033]** Die Legierung 4 wurde mit einer Blechdicke von 110 mm getestet. Die Ergebnisse von Zähigkeit und Dehnung sind in Tabelle 4 gezeigt.

Tabelle 4

Zähigkeit und Dehnungseigenschaften von ausgewählten Legierungen von Tabelle 1, alle Bleche mit einer Dicke von 110 mm, Altern nach einem Zweischnittverfahren, erste Wärmebehandlung bei 120°C für vier Stunden, zweite Wärmebehandlung bei 165°C für 13 Stunden, Legierung 5 mit einem Kupfergehalt von 2,25;  $K_{IC}$  gemessen nach Norm ASTM E399-90 C(T) Probestücke, Dicke von 38,1 mm (1,5") für SL, SL-Proben genommen aus der Mittendicke (S/2).

Legierung	RP (S/2, ST)	A (S/2, ST)	$K_{IC}$ (S/2, SL)
1	465	5	26,9
3	461	5	26,8
4	465	5	27,1
5	453	2	24,1
6	472	1	19,5
7	482	3	26,4

**[0034]** Alle oben erwähnten Legierungen zeigten eine Abblätterungsbewertung von EA für die ausgewählte Blechdicke von 110 mm.

**[0035]** Schließlich wurden die Spannungskorrosionseigenschaften ("SCC") untersucht. Zunächst wurden die Legierungen 1 und 4 mit einer Dicke von 152 mm getestet. Zwei unterschiedliche Alterungsprozeduren wurden nach Tabelle 5 ausgewählt. Das Lastniveau war 172 MPa. Die Testrichtung ist SL. Proben wurden aus der S/2-Position genommen. Tabelle 5 zeigt die Anzahl von Tagen, bis Ausfall gegeben wurde. Nach 30 Tagen wurde der Test abgeschlossen. "NF" bedeutet kein Ausfall nach 30 Tagen, "30" bedeutet Ausfall nach 30 Tagen. Insgesamt werden wenigstens drei Proben pro Variante getestet. Der Test wurde nach ASTM G47 durchgeführt.

Tabelle 5

SCC-Eigenschaften für eine Dicke von 152 mm für zwei Legierungen.

Legierung	5h/120°C + 12h/165°C	4h/120°C+15h/165°C
1	NF, NF, NF	NF, NF, NF
4	30, NF, NF	NF, NF, NF

**[0036]** Schließlich wurden 5 andere Legierungen bezüglich der Spannungskorrosionseigenschaften getestet, wobei Bleche mit einer Dicke von 125 mm verwendet wurden. Proben wurden aus der S-L-Richtung bei einem Lastniveau von 180 MPa genommen. Tabelle 6 zeigt die Chemie und die Ergebnisse jener Legierungen bezüglich der Spannungskorrosionseigenschaften.

Tabelle 6

SCC-Eigenschaften von S-L-Probestücken mit einer Dicke von 125 mm, Fe = 0,08, Si = 0,04 und Zr = 0,10

Legierung	Cu	Mg	Zn	4h/120°C +13h/165°C
A	1,7	1,8	7,4	NF, NF, NF
B	2,3	1,8	7,5	NF, NF, NF
C	2,25	2,5	7,65	15, NF, NF
D	2,8	2,45	8,0	15, 20, NF
E	2,3	2,4	8,1	20, 25, NF

**[0037]** Wie aus Tabelle 6 zu ersehen ist, wird die Zähigkeit der erfinderischen Legierung durch die Kupfer- und Magnesiumniveaus kontrolliert, während Zink insbesondere einen Einfluß auf die Zugeigenschaften hat. Der bevorzugte Ausgleich von Kupfer sowie Magnesium liegt zwischen 1,6 und 2,0 Gew.-%.

**[0038]** Nach der vollständigen Beschreibung der Erfindung wird dem Fachmann klar, daß viele Änderungen und Modifizierungen vorgenommen werden können, ohne den Umfang der hier beschriebenen Erfindung zu verlassen.

### ZUSAMMENFASSUNG

**[0039]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung mit einer verbesserten Beständigkeit gegen Ermüdungsanrißwachstum und einer hohen Schadenstoleranz, welches folgende Schritte aufweist: Gießen eines Barrens mit der folgenden Zusammensetzung (in Gew.-%) Zn 5,5 – 9,5, Cu 1,5 – 3,5, Mg 1,5 – 3,5, Mn < 0,25, Zr < 0,25, Cr < 0,10, Fe < 0,25, Si < 0,25, Ti < 0,10, Hf und/oder V < 0,25, andere Elemente jeweils weniger als 0,05 und weniger als 0,15 insgesamt, Rest Aluminium, Homogenisieren und/oder Vorwärmen des Barrens nach dem Gießen, Warmbearbeiten des Barrens und gegebenenfalls Kaltbearbeiten zu einem bearbeiteten Produkt mit einer Dicke von mehr als 50 mm, Lösungsglühen, Abschrecken des lösungsgeglühten Produkts, und künstliches Altern des bearbeiteten und wärmebehandelten Produkts, wobei der Alterungsschritt eine erste Wärmebehandlung bei einer Temperatur in einem Bereich von 105°C bis 135°C für mehr als 2 Stunden und weniger als 8 Stunden und eine zweite Wärmebehandlung bei einer höheren Temperatur als 135°C aber unter 170°C für mehr als 5 Stunden und weniger als 15 Stunden umfaßt. Das mittels des Verfahrens erhaltene Produkt zeigt eine Druckfestigkeit von wenigstens 510 MPa und eine ST-Dehnung bei S/2 von wenigstens 3,0 %. Die Erfindung betrifft ein schweißbares Blechprodukt aus einer solchen hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung mit einer Dicke von mehr als 50 mm und ein aus einer solchen Legierung hergestelltes Flugzeugbauteil.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung mit einer verbesserten Beständigkeit gegen Ermüdungsanrißwachstum und einer hohen Schadenstoleranz, welches folgende Schritte aufweist:

a) Gießen eines Barrens mit der folgenden Zusammensetzung (in Gew.-%).

Zn: 5,5 – 9,5

Cu: 1,5 – 3,5

Mg: 1,5 – 3,5

Mn: < 0,25

Zr: < 0,25, bevorzugt 0,06 – 0,16

Cr: < 0,10

Fe: < 0,25,

Si: < 0,25,

Ti: < 0,10

Hf und/oder V < 0,25, und andere Elemente jeweils weniger als 0,05 und weniger als 0,15 insgesamt, Rest Aluminium,

b) Homogenisieren und/oder Vorwärmen des Barrens nach dem Gießen,

- c) Warmbearbeiten des Barrens und gegebenenfalls Kaltbearbeiten zu einem bearbeiteten Produkt mit einer Dicke von mehr als 50 mm,
- d) Lösungsglühen,
- e) Abschrecken des lösungsgeglühten Produkts, und
- f) künstliches Altern des bearbeiteten und wärmebehandelten Produkts, wobei der Alterungsschritt eine erste Wärmebehandlung bei einer Temperatur in einem Bereich von 105°C bis 135°C für mehr als 2 Stunden und weniger als 8 Stunden und eine zweite Wärmebehandlung bei einer höheren Temperatur als 135°C aber unter 170°C für mehr als 5 Stunden und weniger als 15 Stunden umfaßt, um ein Produkt zu erreichen mit einer Druckfestigkeit in L-Richtung bei S/4 von wenigstens 475 MPa, einer spezifischen Zugfestigkeit von wenigstens 510 MPa und einer ST-Dehnung bei S/2 von wenigstens 3,0%.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Alterungsschritt aus zwei Wärmebehandlungen besteht, die erste Wärmebehandlung für 2 bis 5 Stunden bei Temperaturen im Bereich von 105°C bis 135°C und die zweite Wärmebehandlung für 5 bis 15 Stunden bei Temperaturen im Bereich von 155°C bis 169°C durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei welchem die erste Wärmebehandlung bei Temperaturen im Bereich 115°C bis 125°C durchgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei welchem die erste Wärmebehandlung für 2 bis 5 Stunden bei etwa 120°C durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei welchem die zweite Wärmebehandlung bei Temperaturen zwischen 161°C bis 167°C durchgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei welchem die zweite Wärmebehandlung für etwa 13 Stunden durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 6, bei welchem die verbesserte Korrosionsbeständigkeit Abblätterungseigenschaften ("EXCO") von EB oder besser nach ASTM G34 hat.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Menge von Mg in einem Bereich von 1,5 bis 2,5, bevorzugt in einem Bereich von 1,6 bis 2,3 und bevorzugter in einem Bereich von 1,90 bis 2,10 ist.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Menge von Cu in einem Bereich von 1,5 bis 2,5, bevorzugt in einem Bereich von 1,6 bis 2,3 und bevorzugter in einem Bereich von 1,85 bis 2,10 ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Menge von Mg wie folgt von der Menge von Zn abhängt: [Mg] ist zwischen 2,4-0,1[Zn] und 1,5+0,1[Zn].

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Menge von Zn in einem Bereich von 5,9 bis 6,2 oder in einem Bereich von 6,8 bis 7,1 oder in einem Bereich von 7,8 bis 8,1 ist.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die hochfeste Al-Zn-Cu-Mg-Legierung aus der Gruppe von AA7010, AA7x50, AA7040, AA720, AA7x75, AA7349, AA7x55, AA7x85, ausgewählt ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem nach dem Homogenisieren und/oder Vorwärmen des Barrens nach dem Gießen der Barren warmbearbeitet und gegebenenfalls kaltbearbeitet wird, und wobei die Bearbeitung bevorzugt mittels Walzen durchgeführt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 14, bei welchem nach dem Homogenisieren und/oder Vorwärmen des Barrens nach dem Gießen der Barren zu einem bearbeiteten Produkt von 60 bis 160 mm, und bevorzugter von 110 bis 160 mm warmbearbeitet und gegebenenfalls kaltbearbeitet wird, und wobei die Bearbeitung bevorzugt mittels Walzen durchgeführt wird.

15. Blechprodukt aus einer hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung, hergestellt nach einem Verfahren nach der Definition in einem der Ansprüche 1 bis 14 und mit einer Dicke von mehr als 50 mm, bevorzugt mehr als

60 mm.

16. Blechprodukt nach Anspruch 15, bei welchem das Blechprodukt ein Bauteil eines Flugzeugs ist.

17. Blechprodukt nach Anspruch 15, bei welchem das Blechprodukt ein Stab oder ein Holm eines Flügels eines Flugzeugs ist.

18. Blechprodukt nach Anspruch 15, bei welchem das Blechprodukt ein oberes Flügelement eines Flugzeugs ist.

19. Flugzeugbauteil, hergestellt aus einer hochfesten Al-Zn-Cu-Mg-Legierung, die nach einem Verfahren nach der Definition in einem der Ansprüche 1 bis 14 hergestellt ist.

20. Flugzeugbauteil mit einer Dicke von wenigstens 50 mm und bevorzugt in einem Bereich von 50 bis 160 mm, das aus einem gewalzten Produkt aus einer Legierung mit einer Zusammensetzung hergestellt ist, die in Gew.-% aus folgendem besteht:

Zn: 5,5 – 9,5

Cu: 1,5 – 3,5

Mg: 1,5 – 3,5

Mn: < 0,25

Zr: < 0,25, bevorzugt 0,06 – 0,16

Cr: < 0,10

Fe: < 0,25,

Si: < 0,25,

Ti: < 0,10

Hf und/oder V < 0,25, und

andere Elemente jeweils weniger als 0,05 und weniger als 0,15 insgesamt, Rest Aluminium, und behandelt durch Lösungsglühen, Abschrecken und eine Alterungspraxis, die aus einer ersten Wärmebehandlung bei einer Temperatur in einem Bereich von 105°C bis 135°C für mehr als 2 Stunden und weniger als 8 Stunden und einer zweiten Wärmebehandlung bei einer höheren Temperatur als 135°C aber unter 170°C für mehr als 5 Stunden und weniger als 15 Stunden besteht, wobei das Produkt eine Druckfestigkeit in L-Richtung bei S/4 von wenigstens 475 MPa, eine spezifische Zugfestigkeit von wenigstens 510 MPa und eine ST-Dehnung bei S/2 von wenigstens 3,0% hat.

21. Flugzeugbauteil nach Anspruch 20, bei welchem die verbesserte Korrosionsbeständigkeit Abblätterungseigenschaften ("EXCO") von EB oder besser nach ASTM G34 hat.

22. Flugzeugbauteil nach Anspruch 20, das Teil eines oberen Flügels eines Flugzeugs ist.

23. Flugzeugbauteil nach Anspruch 20, das Teil eines Holms oder Stabes eines Flugzeugflügels ist.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen